BEITRÄGE ZUR ERKLÄRUNG DER ANISOTROPIE DER ORGANISIRTEN SUBSTANZEN.

HABILITATIONSSCHRIFT,

DURCH WELCHE

MIT ZUSTIMMUNG DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITAET LEIPZIG

ZU SEINER AM SONNABEND DEN 24. JANUAR UM 10 UHR

IM AUDITORIUM DES BOTANISCHEN INSTITUTES

ZU HALTENDEN

PROBEVORLESUNG

UEBER ZWECK UND MECHANIK DER HYGROSKOPISCHEN GEBILDE DER PFLANZEN

ERGEBENST EINLADET

DR. ALBRECHT ZIMMERMANN.

BERLIN 1885.

DRUCK VON GEBR. UNGER

SCHÖNEBERGERSTR. 17a.

BEITRÄGE ZUR ERKLÄRUNG DER ANISOTROPIE DER ORGANISIRTEN SUBSTANZEN.

HABILITATIONSSCHRIFT,

DURCH WELCHE

MIT ZUSTIMMUNG DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITAET LEIPZIG

ZU SEINER AM SONNABEND DEN 24. JANUAR UM 10 UHR IM AUDITORIUM DES BOTANISCHEN INSTITUTES

ZU HALTENDEN

PROBEVORLESUNG

UEBER ZWECK UND MECHANIK DER HYGROSKOPISCHEN GEBILDE DER PFLANZEN

ERGEBENST EINLADET

DR. ALBRECHT ZIMMERMANN.

BERLIN 1885.

DRUCK VON GEBR. UNGER

SCHÖNEBERGERSTR. 17a.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545809_0118

I. Ueber das Verhalten der optischen Elasticitätsaxen vegetabilischer Zellmembranen bei der Dehnung.

Die Beobachtung, dass pflanzliche Zellmembranen selbst bei starken Dehnungen ihren optischen Charakter nicht ändern, war bekanntlich für Naegeli[1]) die hauptsächlichste Veranlassung, die ältere Theorie, welche die Doppelbrechung organischer Gebilde auf Spannungen zurückführte, aufzugeben und seine Theorie von den doppelbrechenden Micellen aufzustellen. Es ist daher begreiflich, dass diejenigen Autoren, die gegen Naegeli die Spannungstheorie zu vertheidigen suchten, entweder die Beweiskraft oder die Richtigkeit der obigen Beobachtung Naegeli's angreifen mussten. Beides ist denn auch in der That geschehen: Ersteres von N. J. C. Müller und Strassburger, Letzteres von Fr. v. Höhnel und V. v. Ebner. Sei es mir zunächst gestattet die Angaben der genannten vier Autoren einer kurzen Kritik zu unterwerfen.

Am einfachsten verfährt ohne Zweifel N. J. C. Müller; er stellt einfach den Satz auf[2]):

„Zug und Druck können nicht eine Annäherung der festen Theile hervorbringen, wie wenn ein Glaswürfel zwischen zwei Schrauben gepresst wird. Wohl aber ist jene Annäherung der Molecüle durch Flüssigkeiten möglich, welche die Membranen zusammenziehen, und von den geforderten Folgen begleitet."

Wie N. J. C. Müller sich eigentlich die Wirkung des Zuges und Druckes bei Zellmembranen vorstellt, wird nicht angegeben, ja wir finden sogar auf derselben Seite des citirten Werkes die Beobachtung

1) cf. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu München. 1862. pag. 183 seq. und Mikroskop. p. 354 seq.

2) Handbuch d. Botanik. Bd. 1. p. 149.

Maxwell's beschrieben, nach der selbst zähe Flüssigkeiten durch Zug und Druck doppelbrechend gemacht werden können.

Strassburger[1]) wendet gegen die Beweiskraft der Naegeli'schen Beobachtungen ein:

„dass in Stärkekörnern und Membranen die einzelnen Lamellen verschieden gespannt sind, dabei fest mit einander verbunden und dass daher Dehnung und Verkürzung innerhalb der möglichen relativ engen Grenzen nur geringe Aenderungen in dem gegenseitigen Verhältniss der Spannungen hervorruft."

Es ist jedoch einleuchtend, dass die Spannung zwischen den verschiedenen Schichten an dieser Stelle jedenfalls nicht in Frage kommen kann; denn wenn z. B. eine Membran gezogen wird, so werden eben alle Schichten derselben gedehnt, und da folglich eine jede isolirt gedacht eine gleichsinnige Aenderung[2]) der optischen Reaction erfahren müsste, so muss auch der ganze Schichtencomplex diese Aenderung zeigen. Auf das Verhältniss der Spannungen zu einander kommt es dabei offenbar nicht an.

Fr. v. Höhnel bestreitet nun, wie bereits oben angegeben wurde, die Richtigkeit der Naegeli'schen Beobachtung[3]). Er hat jedoch nur mit den Bastzellen von *Pipturus argenteus* Dehnungsversuche angestellt, wobei er „sehr auffallende Veränderungen der Interferenzfarben" beobachtete. Auf diese einzige Beobachtung dürfen wir jedoch um so weniger ein allzu grosses Gewicht legen, als nicht einmal angegeben wird, welcher Art diese Farbenänderungen waren.

Erst V. v. Ebner, dessen Abhandlung[4]) übrigens fast gleichzeitig mit der Mittheilung von Höhnel's erschien, hat nicht nur für eine grosse Anzahl thierischer Gewebe, sondern auch für verschiedene vegetabilische Membranen nachgewiesen, dass sie durch Druck und Zug eine Aenderung ihrer optischen Eigenschaften erfahren. Im Kapitel 19 der citirten Arbeit, das den Titel „Zug- und Druckversuche an vegetabilischen Membranen und Geweben" führt[5]), wird zunächst auf die Schwierigkeiten hingewiesen, mit denen Untersuchungen dieser Art verknüpft sind. So gelang es v. Ebner denn auch in der That nicht, bei *Caulerpa* ein sicheres Resultat zu erhalten. Mit aller Sicherheit konnte

1) Bau und Wachsthum der Zellhäute. Jena. 1882. p. 208 seq.

2) Denkbar wäre es allerdings auch, dass die einen Lamellen auf Zug anders reagirten wie die anderen. Dass Strassburger jedoch hieran nicht gedacht hat, geht zur Genüge daraus hervor, dass er die Arbeit Mach's (Optisch-akustische Versuche, Prag 1873), der zuerst in der syrupartigen Phosphorsäure eine Substanz entdeckt hat, die eine umgekehrte Reaction giebt wie Glas, nicht citirt. Uebrigens dürfte eine solche Annahme sich aus anderen Gründen als gänzlich unhaltbar erweisen.

3) Bot. Zeit. 1882. p. 603.

4) Untersuchungen über die Anisotropie organischer Substanzen. Leipzig 1882.

5) l. c. p. 209—218.

er jedoch bei einem Stücke einer grösseren *Nostoc*-Art, bei einer *Tremella* und bei dem Endosperm von *Ceratonia Siliqua* beobachten, dass sie durch Druck und Zug sehr intensive Aenderungen der optischen Reaction erlitten; und zwar fand diese Aenderung stets in derselben Weise statt wie beim Glase. Dass diese Membranen sämmtlich stark schleimig sind, kann, wie v. Ebner bereits hervorhebt [1]), von den Anhängern der Naegeli'schen Micellartheorie kaum ins Feld geführt werden; denn bei so stark imbibitionsfähigen Substanzen müsste man ja nach den Anschauungen Naegeli's „eine besonders grosse Indifferenz gegen Druck und Zug in Bezug auf die Doppelbrechung voraussetzen."

Es gelang v. Ebner jedoch auch bei Bastzellen ein Steigen der Interferenzfarben durch Dehnung hervorzurufen. Ein Gleiches fand bei dem innersten Häutchen der Samenschale der Mandel und der Wurzelrinde einer Hyacinthenzwiebel statt. Doch ist namentlich der letztere Versuch nach v. Ebner's eigenen Angaben deshalb nicht vorwurfsfrei, weil bei ihm Faltungen und Verschiebungen der Membranen eintraten. Auch bei den Versuchen mit der äusseren Epidermis der Samenschale der Bohnen und Erbsen dürfte eine Verschiebung der Zellwände nicht vollkommen ausgeschlossen gewesen sein. Vollständig vorwurfsfrei sind jedoch wieder die Versuche, die von Ebner mit der Cuticula von *Viscum album* angestellt hat, wo ein Steigen resp. Sinken der Interferenzfarben erfolgte, je nachdem das betreffende Stück in der Richtung der längeren oder der kürzeren optischen Elasticitätsaxe desselben gezogen wurde.

Wenn demnach v. Ebner von seinen Versuchen behauptet, dass sie „genügen dürften, um die allgemeine Gültigkeit der Behauptung, dass vegetabilische Membranen im imbibirten Zustande ihre optischen Constanten durch mechanische Einwirkungen nicht ändern, zu widerlegen", so können wir ihm nnr vollständig beipflichten. Bei der hohen Wichtigkeit, welche dieser Frage für unsere gesammten Vorstellungen über die Molecularstructur der organisirten Substanzen zukommt, schien es mir jedoch wünschenswerth, eine möglichst grosse Anzahl vegetabilischer Membranen in dieser Hinsicht zu untersuchen, um so entscheiden zu können, ob die von V. v. Ebner untersuchten Fälle nur als Ausnahmefälle zu betrachten sind, oder ob die daraus gezogenen Schlüsse eine allgemeine Gültigkeit beanspruchen können.

Die Resultate meiner Untersuchungen entsprachen nun leider insofern nicht ganz den Erwartungen, die ich bei Beginn derselben hegen zu dürfen glaubte, als es sich immer mehr herausstellte, dass es in den meisten Fällen — nach den bis jetzt bekannten Methoden wenigstens — ganz unmöglich war, ein vollständig vorwurfsfreies Resultat zu erlangen. Auf der anderen Seite beobachtete ich jedoch bei allen Ge-

1) l. c. p. 213.

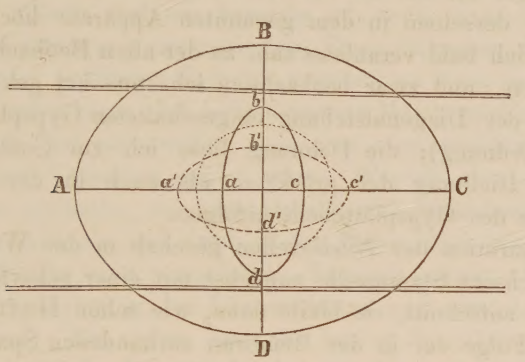
weben, die einigermassen dehnbar waren und ausserdem in hinreichend dünnen Schichten isolirt werden konnten, eine Aenderung der Interferenzfarben bei der Dehnung, und zwar erfolgte dieselbe stets im gleichen Sinne wie beim Glase: Die Interferenzfarbe stieg, wenn die Richtung des Zuges der grossen Elasticitätsaxe des eingeschalteten Gypsplättchens parallel lief, während sie sank im entgegengesetzten Falle. Mag nun auch durch Verschiebungen und Faltungen häufig das Resultat beeinflusst sein, so dürfte der Umstand, dass die Aenderungen stets in demselben Sinne erfolgten, eine directe Abhängigkeit der optischen Constanten von Zug und Druck immerhin wahrscheinlich machen. In einigen wenigen Fällen, die sämmtlich dadurch ausgezeichnet sind, dass bei ihnen eine Umkehr der optischen Reaction eintrat, gelang es mir nun aber auch, eine directe Beeinflussung der optischen Reaction durch Zugspannungen mit aller Evidenz nachzuweisen. Sei es mir zunächst gestattet, im Folgenden diese Fälle etwas eingehender zu besprechen. Ich beginne mit dem einfachsten Falle.

1. Nitella flexilis.

Bei den Zellmembranen von *Nitella flexilis* läuft bekanntlich die eine tangentiale Elasticitätsaxe dem Interferenzstreifen der Plasmaströmungen parallel, und zwar ist dies die kleinere im Sinne Naegeli's. Wird also eine Zellmembran von *Nitella* unter dem Polarisations-Mikroskope in eine solche Lage gebracht, dass ihr Interenzstreifen oder die namentlich bei langen Zellen nahezu damit zusammenfallende Längsrichtung der Zelle der grösseren Axe des eingeschalteten Gypsplättchens parallel läuft, so muss dieselbe in der Flächenansicht offenbar eine Subtractionsfarbe geben. Wird nun ferner in der Längsrichtung der Zelle ein Zug auf dieselbe ausgeübt, so muss, wenn die Membran demselben Spannungsgesetze folgt wie Glas, ein Steigen der Interferenzfarben eintreten, ist die Dehnbarkeit gross genug, so muss sogar eine Umkehrung der Farben erfolgen. Mit anderen Worten: die Membran muss sich der Farbe des Gypsplättchens immer mehr nähern, dieselbe annehmen und schliesslich Additionsfarben zeigen.

Der in optischen Dingen weniger Vertraute kann sich von der Richtigkeit obiger Sätze leicht überzeugen, wenn er nach der von Naegeli angewandten Methode die wirksamen Elasticitätsellipsen aufzeichnet. Es sei die grosse Ellipse ABCD der nebenstehenden Fig. 1 die Elasticitätsellipse des Gypsplättchens und die kleinere ausgezogene Ellipse abcd die bei der Flächenansicht in Frage kommende Ellipse der durch doppelten Contour angedeuteten Membran. Da die grossen Axen der beiden Ellipsen sich rechtwinklig kreuzen, so muss die Membran offenbar den durch das Gypsplättchen bewirkten Phasenunterschied vermindern. Dies bewirkt offenbar ein Sinken der Farben in der Newton'schen Scala oder, wenn man die Farbe der Membran auf die

des Gypsplättchens bezieht, eine Subtractionsfarbe. Wird nun ein Zug in der Richtung A C auf die *Nitella*-Zelle ausgeübt, so wird der Unterschied zwischen den beiden Elasticitätsaxen der Membran immer kleiner, ebenso auch die durch dieselbe bewirkte Aenderung des vom Gypsplättchen hervorgerufenen Phasenunterschiedes oder mit anderen Worten, die Farbe nähert sich der Farbe des Gypsplättchens. Geht die



Figur 1.

Elasticitätsellipse in den durch Punktirung angegebenen Kreis über, so wirkt die Membran ganz wie ein einfach brechender Körper, d. h. sie erscheint in der Farbe des Gypsplättchens. Wird nun die Dehnung noch weiter fortgesetzt, so muss der Kreis offenbar wieder in eine Ellipse (wie a' b' c' d') übergehen, deren grössere Axe nun aber der grösseren Axe des Gypsplättchens parallel läuft. Die Membran muss jetzt also den durch das Gypsplättchen bewirkten Phasenunterschied noch vermehren und eine höhere Farbe in der Newton'schen Scala, eine Additionsfarbe, geben.

Die Beobachtung entsprach nun vollkommen den obigen Voraussetzungen. Dieselbe wurde, wie die meisten diesbezüglichen Untersuchungen mit Hilfe eines dem Ebner'schen Dehnungs-Apparate[1]) nachgebildeten Apparates vorgenommen; nur zog ich es vor, in subtileren Fällen die Dehnung nicht mit der Hand oder mit Gewichten, sondern vermittelst einer Schraube auszuführen. Ich benutzte zu diesem Zwecke die feine Schraube eines Mikrotoms, die ich vermittelst eines Seidenfadens mit dem beweglichen Klotze des Dehnungsapparates in Verbindung setzte.

---

1) cf. l. c. p. 36 ff. und Fig. 1 u. 2. Bei dem genannten Apparate wird das zu dehnende Object zwischen die beiden Hälften eines schief durchschnittenen Klotzes vermittelst einer Schraube eingeklemmt. Der eine Klotz ist auf dem Objecttisch befestigt und steht mit 2 Schienen in Verbindung, in denen sich der andere Klotz schlittenartig bewegt. Auf der einen Schiene befindet sich ferner eine Millimeterscala, die eine allerdings nicht sehr genaue Messung der Längenänderungen gestattet.

Was sodann den optischen Theil des Apparates anbetrifft, so glaubte ich anfangs, dass das Rollet'sche Polarispectromikroskop[1]) in dieser Beziehung gute Dienste leisten würde. Leider hat sich dies aber nicht bestätigt, denn ausser bei *Nitella*, wo man es mit einer ganz gleichmässig dicken Membran zu thun hat, war es ja stets nothwendig, die optische Reaction einer ganz bestimmten Stelle im Auge zu behalten; dies schien aber bei der mit der Dehnung der Membran verbundenen Verschiebung derselben in dem genannten Apparate höchst schwierig, so dass ich mich bald veranlasst sah, zu der alten Beobachtungsmethode zurückzukehren, und zwar beobachtete ich stets bei gekreuzten Nicols mit einem in der Diagonalstellung eingeschalteten Gypsplättchen (meist Roth erster Ordnung); die Dehnung liess ich zur Controlle stets sowohl in der Richtung der grösseren als auch in der Richtung der kleineren Axe des Gypsplättchens erfolgen.

Die Präparation der *Nitella*zellen geschah in der Weise, dass ich eine ausgewachsene Stammzelle zunächst mit einer scharfen Scheere an beiden Enden aufschnitt, sie bleibt dann, wie schon Hofmeister[2]) gezeigt hat, in Folge der in der Membran vorhandenen Spannungen vollkommen straff, und man kann dadurch, dass man mit dem Finger von der Mitte aus nach beiden Seiten darüber hinfährt, das ganze Protoplasma und die namentlich sehr störenden Chlorophyllkörner gänzlich hinausdrängen. Dafür, dass die Membran stets vollständig feucht blieb, wurde durch wiederholtes Bestreichen mit einem feuchten Pinsel Sorge getragen; später wurde die Beobachtung auch in der Weise vorgenommen, dass ich die Membran während des Zuges auf ein eingeschobenes Stück eines Objectträgers legte und mit einem Deckglas bedeckte.

Von der Grösse der durch die Dehnung hervorgebrachten Veränderungen der optischen Reaction mögen die folgenden beiden genaueren Angaben eine Vorstellung geben.

Versuch 1. Eine *Nitella*-Zelle, deren Längsrichtung der längeren Axe des eingeschalteten Gypsplättchens (Roth I) parallel lief, zeigte vor der Dehnung die Subtractionsfarbe Braungelb bis Gelb erster Ordnung. Wurde nun in der Richtung der Längsaxe gezogen, so ging diese Farbe zunächst in die des Gypsplättchens über und stieg allmählich zu einem ganz hellen Blau.

Versuch 2. Die Längsaxe der Zelle sowohl wie die Richtung, in der der Zug erfolgte, fiel mit der kleineren Axe der Elasticitätsellipse des eingeschalteten Gypsplättchens Roth I zusammen. Sie zeigte vor

1) Herr Prof. Dr. L. Kny hatte die Freundlichkeit, für unser Institut einen solchen Apparat in der auf Vorschlag von Dippel verbesserten Form, wie er von C. Zeiss angefertigt wird, anzuschaffen. Dass derselbe nicht in vielen anderen Fällen auch bei der Untersuchung pflanzlicher Gewebe mit grossem Nutzen verwendet werden könnte, soll natürlich mit Obigem nicht gesagt werden.

2) Pflanzenzelle. p. 268.

dem Zuge die Additionsfarbe Violett zweiter Ordnung; diese Farbe sank beim Ziehen bis zu einem hellen Gelb erster Ordnung.

Diese Versuche wurden nun verschiedentlich wiederholt, stets mit dem gleichen Erfolge. Dass Faltenbildungen oder dergl. nicht die Ursache der genannten Erscheinung waren, brauche ich wohl nicht ausdrücklich zu erwähnen; dies geht schon daraus hervor, dass die Farbe stets auf der ganzen Fläche gleichmässig stieg resp. sank.

Bevor ich *Nitella* verlasse, bemerke ich noch, dass die durch den Zug bewirkte Umkehrung der optischen Elastizitätsaxen dadurch, dass man das Object im gedehnten Zustande austrocknen lässt, zu einer dauernden gemacht werden kann. Ich habe derartige Membranen schon mehrere Wochen lang in Oel aufbewahrt, ohne dass eine merkliche Aenderung in dem optischen Verhalten erfolgt wäre. Werden aber solche Präparate in Wasser gebracht, so tritt alsbald eine bedeutende Aenderung der Interferenzfarbe ein und zwar in der Weise, dass fast gänzlich die ursprüngliche Farbe wieder erscheint. Zugleich erfolgt aber auch eine bedeutende Contraction in der Längsrichtung und eine Ausdehnung in der Querrichtung. Bei einem Versuche betrug die erstere z. B. 6 pCt., die letztere ca. 40 pCt. der anfänglichen Längs- resp. Querrichtung, bei einem anderen 7 resp. 80 pCt. Es gehören diese Erscheinungen offenbar in dieselbe Kategorie, wie die jüngst von Fr. von Höhnel[1]) constatirten Aenderungen der Quellungsfähigkeit an Bastzellen. Nur müssen hier die Verhältnisse offenbar etwas verwickelter sein — vielleicht in Folge der spiraligen Structur! —, so dass es bis jetzt noch nicht gelungen, aus den angestellten Beobachtungen allgemein gültige Regeln abzuleiten.

2. Betula alba.

Das Periderm der älteren Birkenzweige besteht bekanntlich abwechselnd aus dünn- und aus dickwandigen Zellschichten. Von diesen sind nun, wie von Höhnel[2]) nachgewiesen, nur die ersteren verkorkt,

---

1) cf. Ber. d. deutsch. bot. Ges. Bd. II. p. 41 ff. Wenn v. Höhnel auf Grund dieser Untersuchungen die von mir in No. I meiner Molecular-physicalischen Untersuchungen nachgewiesene Beziehung zwischen der Quellungsfähigkeit und der Doppelbrechung bestreitet, so kann ich ihm in dieser Beziehung nicht beipflichten. Denn trotz der Aenderungen, die die Quellungsfähigkeit der Bastzellen durch Dehnungen etc. erleidet, bleibt die Quellungsfähigkeit in der Längsrichtung — mag nun in derselben eine geringe Expansion oder Contraction bei der Quellung eintreten — doch immer die geringste und es müssten also die Bastzellen nach der von den hygroscopischen Gebilden von mir abgeleiteten Regel so reagiren, als wenn sie in der Längsrichtung gezogen wären. Dies ist aber auch in der That der Fall. Wie sich ferner der Satz (l. c. p. 51), an dessen Ende sich das Citat meiner Mittheilung befindet, auf die in derselben besprochenen hygroscopischen Objecte beziehen soll, ist mir unverständlich.

2) Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien. 1877. Bd. LXXVI. p. 623 seq.

während die dickwandigen Schichten aus unveränderter Cellulose bestehen und ausserdem, wie bereits von Schwendener[1]) nachgewiesen wurde, eine grosse Dehnbarkeit besitzen. Bei ihnen gelang es nun auch mit aller Sicherheit eine directe Aenderung der optischen Constanten durch Dehnung nachzuweisen. Es wurden zu diesem Zwecke aus einer abgeschälten Korklamelle 1—2 *mm* breite Streifen, deren Längsrichtung den Lenticellen, also der Querrichtung am Stamm parallel lief, hergestellt; sodann wurden in der Mitte derselben sämmtliche dünnwandigen Zellen, die durch ihr weisses Aussehen leicht kenntlich waren, und auch ein Theil der bräunlichen dickwandigen Zellen abgeschabt und darauf der so präparirte Streifen in der Weise in den Dehnungsapparat gebracht, dass die dünne Stelle in das Gesichtsfeld des Mikroskopes kam. Es war bei dieser Art der Präparation auf der einen Seite leichter das Object einzuklemmen, auf der anderen Seite liessen sich aber auch viel sicherer bestimmte Punkte bei stärkerer Vergrösserung beobachten, da die Dehnungen ja fast nur an der dünnen Stelle stattfanden und somit die Verschiebungen des Präparates sehr vermindert wurden. Endlich liess es sich auf diese Weise auch meist erreichen, dass der besonders instructive Moment, wo der Streifen endlich durchriss, in das Gesichtsfeld des Mikroskopes fiel.

Da die betreffenden Zellen dieselbe optische Reaction zeigen wie gewöhnliche Korkzellen, so gaben offenbar die Profilansichten der Membranen ein gleiches Bild wie die Flächenansichten bei *Nitella* und es war zu erwarten, dass sich auch hier eine Umkehr der Farben würde hervorbringen lassen. Dies war denn auch in der That der Fall. Von den zahlreichen Versuchen, die sämmtlich den gleichen Erfolg hatten, will ich nur zwei näher beschreiben.

Versuch 1. Der Streifen befand sich über dem Gypsplättchen Roth I, die Längsrichtung desselben lief der längeren Axe des Gypsplättchens parallel. Vor der Dehnung zeigten an der dünnen Stelle die Profilansichten der Membranen die Subtractionsfarbe Gelb erster Ordnung, die Flächenansichten waren fast neutral oder ganz schwach bläulich. Bei langsamen Ziehen verschwand nun zunächst das Gelb der Profilansichten, ging durch Roth in das Blau zweiter Ordnung über, auch die Flächenansichten liessen eine deutliche Steigerung erkennen. Bei weiterem Dehnen stiegen die Farben immer mehr, so dass die ganze Stelle unmittelbar vor dem Zerreissen die Farbe Gelb zweiter Ordnung mit einem merklich röthlichen Schimmer — natürlich vom Roth zweiter Ordnung — zeigte.

Versuch 2. Die Dehnung geschah parallel der kleineren Axe des eingeschalteten Gypsplättchens Roth I. Die Profilansichten erschienen vor der Dehnung blau-grün (zweiter Ordnung), unmittelbar vor dem

1) Abhandlungen der Kgl. Akad. d. Wiss. zu Berlin. 1882. p. 42 des Separatabdruckes.

Zerreissen zeigte die ganze Stelle die Farben Weiss bis Dunkelgrau erster Ordnung.

Es ist offenbar, dass obige Farbenänderungen nur eine directe Folge der Dehnung sein konnten. Denn wenn wir auch annehmen wollten, dass sich die Membranen durch die Dehnung etwas gedreht hätten, so hätte dadurch zwar eine Annäherung der Interferenzfarbe an die des Gypsplättchens, auf keinen Fall aber eine Umkehrung derselben bewirkt werden können.

3. Prunus avium.

Der Kork von *Prunus* zeichnet sich, wie ebenfalls von Schwendener[1]) nachgewiesen wurde, durch grosse Dehnbarkeit aus und zwar kann dieselbe nach den Angaben dieses Autors über 10 pCt. betragen. In seinem optischen Verhalten stimmt der Kork von *Prunus* ganz mit dem soeben betrachteten überein: Auch bei ihm ist die senkrecht auf der Fläche der Membranen stehende Axe die grösste, während die beiden in die Fläche fallenden Axen jedenfalls nur wenig verschieden sind, was aus der unbestimmten Reaction in der Tangentialansicht hervorgeht. Die Versuche, welche in derselben Weise wie bei *Betula* ausgeführt wurden, zeigten nun auch vollkommen gleiche Resultate. Ich gebe im Folgenden wieder die ausführliche Beschreibung zweier Versuche.

Versuch 1. Der Rindenstreifen wurde der grösseren Axe des Gypsplättchens Roth I parallel gelegt und in derselben Richtung gezogen. Vor der Dehnung zeigten die Profilansichten der Membranen die Subtraktionsfarbe Gelb erster Ordnung. Beim Ziehen traten an derselben der Reihe nach die Farben Roth erster Ordnung und Violett, Blau, Grün und Gelb zweiter Ordnung auf.

Versuch 2. Der Rindenstreifen wurde der kleineren Axe des Gypsplättchens Roth I parallel gelegt und in dieser Richtung gezogen. Die Profilansichten gaben vor der Dehnung die Additionsfarbe Blaugrün zweiter Ordnung, bei der Dehnung sank diese Farbe bis zum Hellgelb erster Ordnung.

In den beschriebenen 3 Fällen war es, wie wir sahen, ganz unzweifelhaft, dass eine directe Beeinflussung der optischen Constanten durch Dehnung stattfand. Es scheint mir daher auch überflüssig, alle diejenigen Versuche, bei denen es immerhin nicht gänzlich ausgeschlossen war, dass die beobachteten Aenderungen der optischen Reaction durch gewisse Verschiebungen bewirkt wurden, einzeln aufzuzählen. Nur 2 Fälle sei es mir gestattet, noch etwas eingehender zu besprechen; es mögen dieselben zugleich dazu dienen, die Schwierigkeiten, mit denen

1) l. c. p. 41.

die Erlangung eines völlig sicheren Resultates verknüpft ist, zu illustriren.

4. Allium Cepa.

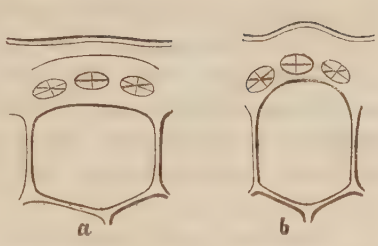
Wie bereits von Weinzierl[1]) nachgewiesen, besitzt die Epidermis von *Allium* eine Dehnbarkeit von über 10 pCt. Es schien dies daher um so mehr ein geeignetes Object für unsere Untersuchungen zu sein, als es hier sehr leicht ist, die Epidermis zu isoliren. Als ich nun ca. 2 *mm* breite Rindenstreifen, bei denen in der Mitte die Epidermis frei präparirt war, in den Dehnungsapparat brachte und allmählich zog, bemerkte ich denn auch in der That ein nicht unerhebliches Steigen der Interferenzfarben, wenn der Zug in der Richtung der grösseren Axe des Gypsplättchens stattfand.

Wenn z. B. in Combination mit dem Gypsplättchen Roth I die Epidermis vor der Dehnung, abgesehen von den um die Spaltöffnungen herumliegenden Partien, wo in Folge von Wölbungen verschiedene Farben auftraten, nur einen schwach bläulichen Schimmer zeigte, so liess sich die Farbe durch Dehnung bis zu einem ganz hellen Blau zweiter Ordnung, ja stellenweise bis ins Grünliche und bis ins Gelbliche steigern.

Anfangs schien es mir nun, dass dieses Resultat ohne jedes Bedenken als ein vollgültiger Beweis für die directe Beeinflussung der optischen Axen durch die Dehnung gelten könnte. Es stellte sich jedoch bald heraus, dass die Möglichkeit einer indirecten Beeinflussung keineswegs gänzlich ausgeschlossen war. Es wäre nämlich wohl möglich, dass die Aussenwandungen der Epidermiszellen, die in Folge ihrer bedeutenden Dicke die optische Reaction bedingen, durch die Dehnung etwas gewölbt wurden, wie dies in Fig. 2 b, natürlich stark übertrieben, dargestellt ist. Eine solche Wölbung würde in der That in derselben Weise wirken, wie wir es soeben beschrieben haben. Um dies jedoch einsehen zu können, ist es zunächst nothwendig, durch Quer- und Längsschnitte die Orientirung des optischen Elasticitätsellipsoids in der betreffenden Membran zu construiren. Diese zeigen nun, dass abgesehen von der sehr dünnen Cuticula, die entgegengesetzte Reaction zeigt, die grösste Axe des Elasticitätsellipsoids, wie bei den meisten aus nicht cuticularisirter Cellulose bestehenden Membranen, in die Längsrichtung der Zellen fällt, während die mittlere Axe den Schichten parallel läuft und die kleinste senkrecht darauf steht. Die in den Querschnitt fallenden Axen haben folglich die in der Fig. 2 a angegebene Orientirung. Findet nun eine Wölbung statt, so werden offenbar sämmtliche Elasticitätsellipsoide in der Weise gedreht, dass diejenigen Radien derselben, die in Gemeinschaft mit der auf dem Querschnitt senkrecht

1) Sitzungsber. d. Wiener Akad. October 1877. p. 48.

stehenden grössten Axe die optische Reaction der Flächenansicht bedingen — diese Radien sind in Fig. 2 b stark ausgezogen — sich immer mehr der kleinsten Axe des optischen Elasticitätsellipsoides nähern. Mithin würde mit einer solchen Drehung auch eine Zunahme der Differenz der optischen Axen und folglich auch eine Vergrösserung des durch die Membran bewirkten Phasenunterschiedes verbunden sein.



Figur 2.

In gleichem Sinne würde natürlich auch die mit einer solchen Wölbung verbundene Verlängerung des Weges, den die senkrecht auf die Membran einfallenden Lichtstrahlen in derselben zurükzulegen haben, wirken.

Uebrigens scheint es mir nicht wahrscheinlich, dass der geschilderte Umstand auf die optische Reaction wirklich von erheblichem Einflusse gewesen ist. Denn eine mikroskopisch nachweisbare Wölbung fand in der That nicht statt und die allerdings zu beobachtende schwache Contraction in der auf der Zugrichtung senkrecht stehenden Richtung, konnte ja auch ebenso gut direkte Folge der Dehnung sein, ebenso wie ein jeder Kautschukstreifen, wenn man ihn in der Längsrichtung dehnt, sich in der Querrichtung zusammenzieht. Immerhin schien mir obiges Bedenken zu genügen, um die volle Beweiskraft des geschilderten Versuches zweifelhaft erscheinen zu lassen.

5. Foeniculum officinale.

Es wurden an Rindenstreifen, die dem Stengel obiger Pflanze entnommen waren, durch Abschaben von beiden Seiten her einzelne möglichst dünne Collenchymstränge frei präparirt. Die Stränge reagirten, wie die Beobachtung mit eingeschaltetem Gypsplättchen erkennen liess, in der Weise, dass die längste Axe des optischen Elasticitätsellipsoides mit der Längsrichtung zusammenfiel. Da diese Streifen jedoch immerhin ziemlich hohe Interferenzfarben zeigten, schien es mir zweckmässig, die Beobachtung ohne Gypsplättchen bei gekreuzten Nicols vorzunehmen, wo sich die Wirkung der Dehnung in der Längsrichtung offenbar durch ein Steigen der Interferenzfarben zu erkennen geben musste, wenn sich das Collenchym ebenso verhielt, wie die bereits beschriebenen Membranen. Fasste man nun eine bestimmte Stelle eines solchen Bündels ins Auge, so liess sich auch in der That stets ein Steigen der Interferenzfarben beobachten. Von der Grösse der dabei eintretenden Aenderungen mögen die folgenden beiden Versuche eine Vorstellung geben.

Versuch 1. Die betreffende Stelle zeigte vor dem Zuge die Farben Weiss bis Rothorange erster Ordnung, unmittelbar vor dem Zer-

reissen die Farben Gelb erster Ordnung bis blau zweiter Ordnung. Nach dem Zerreissen trat die alte Reaction wieder ein.

Versuch 2. Vor der Dehnung erschien die fixirte Stelle in den Farben Weiss erster Ordnung bis zu einer Spur Roth zweiter Ordnung (in der Mitte). Während des Ziehens nahm dieselbe die Farben Roth zweiter Ordnung bis Gelb dritter Ordnung an. Nach dem Zerreissen traten auch hier die früheren Farben wieder auf.

Es waren jedoch auch diese Versuche nicht ohne jedes Bedenken, weil es bei ihnen nicht gänzlich ausgeschlossen war, dass die verdickten Partien der Membranen näher zusammenrückten und so ein Steigen der Interferenzfarben bewirkten. Es dürfte indessen diese Annahme kaum im Stande sein, die bedeutenden Aenderungen der optischen Reaction zu erklären, um so weniger, da die mit der Dehnung unzweifelhaft verbundene Verdünnung der Membran ein Sinken der Interferenzfarbe bewirken musste.

Zusammenfassung.

Auf Grund der v. Ebner'schen und meiner Versuche glaube ich zu der Annahme berechtigt zu sein, dass eine gänzliche Indifferenz der vegetabilischen Membranen gegen Druck und Zug jedenfalls nicht besteht und dass, wenn überhaupt in dieser Beziehung ein Unterschied zwischen den organisirten und den nicht organischen Substanzen vorhanden ist, dieser höchstens ein quantitativer sein kann. Denn die negativen Resultate Naegeli's dürften doch den so evidenten positiven Resultaten gegenüber nicht ins Gewicht fallen, wenn man bedenkt, mit welchen Schwierigkeiten die Erlangung eines sicheren Resultates verknüpft ist. Diese werden, wie bereits v. Ebner richtig bemerkt, nicht nur dadurch hervorgerufen, dass die meisten Membranen schon von Natur eine hohe Interferenzfarbe zeigen, sondern ganz besonders dadurch, dass es so schwer fällt, genügend dehnbare Objecte aufzufinden, in denen das optische Elasticitätsellipsoid eine gleichmässige Orientirung besitzt. Dass die von Ebner und mir beobachteten Fälle Ausnahmefälle sein sollten, ist um so unwahrscheinlicher, als die benutzten Membranen den verschiedensten Pflanzen entstammen und auch aus sehr verschiedenen Modificationen der Cellulose bestehen. Ich möchte daher als Resultat dieser Mittheilung den Satz aufstellen: es mag immerhin organisirte Membranen geben, die nur äusserst geringe Aenderungen ihres optischen Verhaltens durch Druck und Zug erleiden; aber ein principieller Gegensatz ist in optischer Beziehung zwischen den organisirten und den anorganischen Substanzen jedenfalls nicht vorhanden.

2. Ueber die Ursachen der Anisotropie organischer Substanzen.

Unter den verschiedenen Theorien, die zur Erklärung der Anisotropie der organisirten Substanzen aufgestellt wurden, scheinen mir nach dem heutigen Standtpunkte der Wissenschaft nur zwei eine gewisse Berechtigung für sich zu haben: Nämlich die Theorie von den doppelbrechenden Micellen und die Theorie von der krystallinischen Structur[1]). Nach der ersteren wird die Anisotropie der organisirten Substanzen dadurch bewirkt, dass die Bausteine, aus denen sie sich zusammensetzen, die Micellen Naegeli's, die Tagmen Pfeffer's oder die Molecülaggregate der Chemiker selbst doppelbrechend sind; nach der anderen ist es die gesetzmässige Anordnung der kleinsten Theilchen, die die Doppelbrechung bewirkt.

Geht man nun aber etwas tiefer auf die Ursachen der Anisotropie ein, so wird man finden, dass der Unterschied zwischen diesen beiden Theorien keineswegs ein so grosser ist, als es auf den ersten Blick scheinen möchte. Denn da die Doppelbrechung offenbar nur durch eine ungleiche Dichtigkeit des Lichtäthers in den verschiedenen Richtungen hervorgebracht werden kann, so müssten wir nach der ersten Theorie annehmen, dass die ungleiche Dichtigkeit des in den Micellen enthaltenen Lichtäthers für den optischen Effect massgebend sei, während nach der Hypothese von der krystallinischen Structur der die kleinsten Theile umgebende Lichtäther die Doppelbrechung bewirken müsste. Wie man sieht, setzen beide Theorien eine regelmässige Anordnung der Micellen voraus, denn eine Summation der optischen Effecte kann nach beiden nur unter dieser Annahme stattfinden. Das Unterscheidende bildet dagegen die Grösse der Micellen. Nach der ersteren Theorie müssen wir annehmen, dass die Micellen eine solche Grösse besitzen, dass der die Atome und Molecüle eines jeden Micells umgebende Lichtäther schon einen erheblichen optischen Effect hervorzubringen vermag; nach der zweiten Theorie ist dagegen in optischer Beziehung ein Gegensatz zwischen den Micellen und den Molecülen nicht vorhanden und der die Micellen umgebende Lichtäther spielt die Hauptrolle.

Vom rein theoretischen Standpunkte scheint es mir zur Zeit unmöglich, eine Entscheidung zwischen diesen beiden Theorien zu fällen, ja es scheint mir nicht einmal nothwendig sich ausschliesslich für eine

1) Wenn v. Ebner (l. c. p. 18 ff.) den Ausdruck „krystallinische Structur" nur in denjenigen Fällen angewandt wissen will, wo die gesetzmässige Anordnung durch chemische Kräfte hervorgebracht wird, so scheint mir dies doch etwas sehr künstlich und dem üblichen Sprachgebrauch nicht entsprechend. Ich werde im Folgenden einem jeden Körper, bei dem die kleinsten Theile in derselben Weise wie bei einem Krystalle gesetzmässig angeordnet sind, krystallinische Structur zuschreiben, mögen nun chemische Kräfte, Spannungen oder dergl. diese Anordnung bewirken.

zu entscheiden; es ist vielmehr recht gut denkbar, dass sowohl der in den Micellen enthaltene, als auch der die Micellen umgebende Lichtäther doppelbrechend wirkt.

Gegenüber der von Ebner ausgesprochenen Ansicht, dass die Annahme anisotroper Micellen a priori sehr unwahrscheinlich sein soll, scheint es mir nicht überflüssig, auf die circularpolarisirenden Lösungen hinzuweisen, bei denen ganz allgemein angenommen wird, dass nicht die Anordnung der Molecülcomplexe sondern ihre Structur den optischen Effect bewirkt[1]). Dahingegen verzichte ich darauf, die Gründe, die für die Annahme von Molecülaggregaten oder Micellen in den organisirten Substanzen sprechen, hier zu erörtern, um so mehr, da ja diese Gründe weniger auf optischem Gebiete liegen, sondern vielmehr auf dem Verhalten bei der Quellung und den osmotischen Erscheinungen basirt sind.

Von den Beobachtungen, welche zur Bestätigung oder Widerlegung der einen oder anderen Theorie herangezogen wurden, scheinen mir nur diejenigen, welche die Abhängigkeit der optischen Elasticitätsaxen von Zug und Druck zum Gegenstande haben, einige Beweiskraft zu besitzen; die übrigen Beobachtungen lassen sich meiner Ansicht nach fast gleich gut nach jeder Theorie erklären. Geben wir jedoch zu, dass die optischen Constanten der organisirten Gebilde durch Zug und Druck geändert werden, wie dies aus den Ebner'schen und meinen Untersuchungen unzweifelhaft hervorgehen dürfte, so scheint mir mindestens die Annahme nothwendig, dass die Anordnung der Micellen für den optischen Effect von grosser Bedeutung ist. Denn ohne diese Annahme wären die gemachten Beobachtungen nur erklärlich, wenn durch mechanische Einflüsse entweder die Gestalt der Micellen geändert würde oder die Axen derselben gedreht würden. Erstere Annahme scheint mir jedoch a priori ausgeschlossen, letztere aber deshalb sehr unwahrscheinlich, weil gar nicht einzusehen wäre, weshalb, namentlich wenn die Micellen in Longitudinalreihen angeordnet sind, sich diese durch Druck und Zug stets in derselben Weise drehen sollten. Besonders bemerkenswerth erscheinen mir in dieser Beziehung diejenigen Fälle, wo durch die Dehnung eine Umkehrung der optischen Axen bewirkt wurde.

Viel wahrscheinlicher ist doch wohl die Annahme, dass die Anordnung der Micellen für den Grad der Doppelbrechung massgebend ist und dass die Aenderung der optischen Reaction durch Druck und Zug die Folge einer Aenderung dieser Anordnung ist.

Ob wir nun ausserdem auch den Micellen eine doppelbrechende Kraft zuschreiben sollen, scheint mir zur Zeit durch optische Beobachtungen nicht entschieden werden zu können, und die auf Quellungs-

1) Wüllner, Experimentalphysik. Bd. 2. p. 597 und Naumann, Allgemeine Chemie. 1877. p. 296 f. und p. 761 ff.

erscheinungen etc. basirenden Deductionen dürften gleichfalls in dieser Beziehung ohne Beweiskraft sein.

Nach dem Gesagten glaube ich den Satz aufstellen zu können, dass die Anisotropie der organisirten Substanzen jedenfalls zum grössten Theile durch die gesetzmässige Anordnung der Micellen in denselben bewirkt wird. Ob ausserdem auch die Micellen an und für sich eine doppelbrechende Kraft besitzen, lässt sich durch directe Beobachtung nicht entscheiden, scheint aber aus theoretischen Gründen nicht unwahrscheinlich.

Eine zweite Frage ist es nun, durch welche Kräfte die gesetzmässige Anordnung der Micellen oder mit anderen Worten die krystallinische Structur in den organischen Substanzen hervorgebracht wird.

Dass diese nicht auf der stofflichen Zusammensetzung beruhen wie bei den Krystallen und somit chemischer Natur sein können, wie dies früher von H. v. Mohl[1]) angenommen wurde, wurde bereits von Naegeli[2]) nachgewiesen, und ich verweise in dieser Beziehung auch auf die Ausführungen von V. v. Ebner[3]).

Ebenso wenig, wie chemische Kräfte, kann aber auch die Schichtenspannnng in dieser Beziehung herangezogen werden, wie dies neuerdings von Strassburger[4]) geschehen. Denn es müssten dann doch vor Allem stets die entgegengesetzt gespannten Schichten, die einander das Gleichgewicht halten, eine verschiedene optische Reaction zeigen. Die Beobachtung lehrt aber das Gegentheil; es kommt überhaupt, soviel mir bekannt, nur bei den Epidermiszellen und den hygroscopischen Haaren vor, dass sich an ein und derselben Zelle Stellen mit entgegengesetzter Orientirung des optischen Elasticitätsellipsoids finden.

Anders verhält es sich mit der Theorie v. Höhnel's und v. Ebner's. Nach der Annahme des ersteren Autors sind es „moleculare Spannungen", die die Anisotropie bewirken; diese setzen nach der Vorstellung von Höhnel's eine Gegenspannung nicht voraus, es wird vielmehr eine Ausgleichung derselben dadurch verhindert, dass die Molecüle in der festen Membran unbeweglich fixirt sind; erst wenn der Zusammenhang der Molecüle gelockert ist, wie z. B. bei der Quellung in starken Säuren etc., vermögen die Molecüle sich zu nähern und von einander zu entfernen und so ihre Spannungen auszugleichen. Abgesehen von dem letzten Punkte, der zuerst von Fr. v. Höhnel nachgewiesen und in dieser Weise gedeutet wurde, stimmt mit dieser Theorie auch die von Ebner's im Wesentlichen überein. Derselbe spricht sich in seiner

1) Bot. Zeit. 1859. No. 26.
2) Sitzungsber. der k. bair. Acad. d. Wiss. in München. März 1862.
3) l. c. 5 und 6.
4) l. c. p. 208 und 209.

Abhandlung[1]) folgendermassen über die Natur der Spannungen, die die Doppelbrechung bewirken sollen, aus:

„Zur Erklärung der Anisotropie organischer Substanzen können keine Spannungen, welche auf Gegenwirkungen grösserer Massenbezirke der Substanz allein beruhen, herangezogen werden. Denn davon kann man sich leicht überzeugen, dass Aufhebung der Gewebespannung keineswegs die Doppelbrechung aufhebt; ja dass man jedenfalls zu einer sehr weit gehenden mechanischen Zerkleinerung der organisirten Substanzen greifen kann, ohne ihre Anisotropie wesentlich zu ändern."

Es werden ferner von beiden Autoren verschiedene Versuche mit Glas, Gummi, Leim, Gelatine etc. angeführt, die die physikalische Möglichkeit solcher „molecularen Spannungen" beweisen sollen. Ich erwähne in dieser Beziehung nur, dass man z. B. einem feuchten Gelatinestreifen, der ursprünglich isotrop ist, durch Dehnung leicht jeden beliebigen Grad der Anisotropie geben kann; es genügt ferner den betreffenden Streifen in gedehntem Zustande austrocknen zu lassen, um diese Anisotropie zu einer dauernden zu machen; es verschwindet dieselbe auch nicht, wenn man den Streifen später wieder befeuchtet oder beliebig zerkleinert. Bezüglich der übrigen Experimente verweise ich auf die citirten Originalarbeiten[2]).

Aus den genannten Experimenten scheint mir jedoch nur hervorzugehen, dass Spannungen eine dauernde gesetzmässige Anordnung der kleinsten Theilchen, die sich in der Anisotropie derselben offenbart, zu bewirken im Stande sind, nicht aber, dass auch diese Spannungen in den anisotropen Membranen noch vorhanden sein müssen[3]). Vielmehr glaube ich, dass sich die Micellen in denselben in einem gewissen Gleichgewichtszustande befinden müssen, da mir die Annahme von Spannungen ohne Gegenspannungen als physikalische Unmöglichkeit erscheint. Es ist ja immerhin möglich, dass dieser Gleichgewichtszustand nur ein labiler ist, so dass derselbe leicht zerstört werden kann. In dieser Weise dürfte vielleicht die durch v. Höhnel constatirte Thatsache ihre Erklärung finden, dass die Zellmembranen bei der starken Quellung sich im Allgemeinen in der Längsrichtung bedeutend contrahiren, in der Querrichtung aber ausdehnen. Es entsprechen diese Gestaltsveränderungen übrigens, wie ebenfalls schon von dem genannten Autor nachgewiesen wurde, ganz den von der Spannungstheorie zu fordernden Zug- und Druckspannungen. Ich habe diese Versuche wiederholt und in allen Fällen bestätigt gefunden.

---

1) l. c. p. 18.

2) Auch die Versuche N. J. C. Müller's müssen an dieser Stelle erwähnt werden. (cf. namentlich Ber. d. deutsch. bot. Ges Bd. I. p. 77—83.)

3) Ich bemerke übrigens, dass es mir aus der von Ebner'schen Arbeit nicht klar ersichtlich ist, ob er ein dauerndes Vorhandensein von Spannungen in den anisotropen Membranen annimmt.

Von einigem Interesse dürfte es sein, dass der untere Theil der Samenhaare von *Epilobium*, der bekanntlich[1]) auf beiden Seiten entgegengesetzte Reactionen zeigt, sich bei der starken Quellung in Schwefelsäure, Kalilauge etc. ebenfalls ganz der optischen Reaction entsprechend in der Längsrichtung auf der einen Seite zusammenzieht, auf der anderen Seite ausdehnt. Es ist dies natürlich mit starker Krümmung verbunden, die jedoch in entgegengesetzter Richtung stattfindet wie beim Austrocknen. Dass wirklich sowohl Expansion wie Contraction eintrat, constatirte sich in der Weise, dass ich kleine Stücke von einem Samenhaare, von denen ich zuvor mit Hülfe des Polarisations-Mikroskopes festgestellt, dass sie dem unteren Theile entstammten, bei mässiger Vergrösserung aufzeichnete, dann das betreffende Reagenz zusetzte und darauf abermals eine Zeichnung von dem nun spiralig gewundenen Haare entwarf. Es liess sich dann durch Nachmessen mit dem Zirkel die Grössenänderung leicht constatiren. So contrahirte sich z. B. in dem einen Falle bei Anwendung von Schwefelsäure die eine Seite von 17 auf 15, während sich die andere von 17 auf 25 ausdehnte. In einem anderen Falle fand eine Contraction von 14,5 zu 13 und eine Expansion von 14,5 auf 21,5 statt.

Ferner fällt auch bei der gewöhnlichen Quellung, wie v. Ebner zuerst hervorgehoben[2]), bei thierischen Membranen stets die Richtung der grössten Quellungsfähigkeit mit der kleinsten Axe des optischen Elasticitätsellipsoids zusammen, ebenso wie bei einem gezogenen Gelatinestreifen, der auch in der Riehtung senkrecht zur Fläche am meisten quillt. Dasselbe ist nun aber auch, wie namentlich bei den hygroscopischen Objecten schön hervortritt[3]), jedenfalls auch bei den pflanzlichen Membranen im Allgemeinen der Fall.

Endlich dürfte das stetige Zusammenfallen der Längsrichtung der Tüpfel in den vegetabilischen Membranen mit der grössten Axe des optischen Elasticitätsellipsoids[4]) gleichfalls dafür sprechen, dass Spannungen die Anisotropie der organisirten Substanzen bewirken.

Die Resultate dieses Abschnittes lassen sich somit in den Satz zusammenfassen: Der Annahme, dass die die Anisotropie bewirkende krystallinische Structur der organischen Substanzen durch Spannungen hervorgerufen wird, stehen theoretische Schwierigkeiten nicht im Wege und es sprechen sogar gewisse Thatsachen für diese Annahme. Es ist jedoch nicht wahrscheinlich, dass diese Spannungen später noch in der Membran vorhanden sind.

1) cf. diese Berichte. Bd. I. p. 539.
2) l. c. p. 19.
3) cf. diese Berichte. Bd. I. p. 533 ff.
4) cf. diese Berichte. Bd. II. p. 124 ff.

Es bleibt nun noch die Frage zu erörtern: Wie entstehen diese Spannungen?

Was speciell das Wachsthum der Zellmembranen anbetrifft, so spricht sich v. Ebner am Schlusse seiner diesbezüglichen Deductionen folgendermassen aus[1]):

„Es wird darauf ankommen, ob die dehnende Kraft des Turgors, oder diejenige des Intussusceptionswachsthums überwiegt, damit die kürzeste oder längste Elasticitätsaxe des Druckes senkrecht zur Flächennormale orientirt ist.“ Aehnliche Ansichten scheint auch v. Höhnel über diesen Gegenstand zu haben.

Gegen die theoretische Richtigkeit obiger Sätze lässt sich nichts einwenden; doch fehlt ihnen bis jetzt eine genügende Begründung an der Hand der Thatsachen. Es kann uns dies übrigens bei den mangelhaften Kenntnissen, die wir zur Zeit über die inneren Wachsthumsvorgänge der Zellmembranen besitzen, nicht wundern. Indessen scheint es mir nicht unwahrscheinlich, dass sich gerade aus einer genauen Vergleichung der Wachsthumsrichtung und der wichtigsten das Wachsthum beeinflussenden Factoren mit der Orientirung des optischen Elasticitätsellipsoids einige Aufklärung in dieser Beziehung würde erlangen lassen. Leider war es jedoch auch mir zur Zeit noch nicht möglich, eine eingehendere Untersuchung in dieser Beziehung anzustellen. Ich beschränke mich daher darauf, eine Beobachtung an dieser Stelle zu erwähnen, die, wenn sie sich allgemein bestätigen sollte, auf eine gewisse Abhängigkeit der optischen Reaction von der Gewebespannung hinweisen würde. Ich beobachtete nämlich an den unreifen Theilfruchtschnäbeln von *Erodium gruinum*, dass dieselben, sobald ich sie von der Mittelsäule loslöste, sich lebhaft nach aussen krümmten und in Wasser gelegt nach einiger Zeit mehrere Schraubenwindungen annahmen, die den durch Austrocknung an der Granne der reifen Frucht entstandenen vollkommen ähnlich waren. Leider war es mir jedoch aus Mangel an Untersuchungsmaterial bei der vorgeschrittenen Jahreszeit nicht mehr möglich, meine Untersuchungen in dieser Beziehung weiter fortzusetzen, und ich verzichte daher auch vorläufig darauf, irgend welche Folgerungen an diesen Versuch zu knüpfen. Ich hoffe jedoch, dass es mir im nächsten Jahre möglich sein wird, genauere Untersuchungen hierüber anzustellen, und zwar scheinen mir gerade die hygroscopischen Gebilde wegen ihrer Abweichungen von den gewöhnlichen optischen Verhältnissen einigen Erfolg zu versprechen.

Berlin, botanisches Institut der Königl.
landwirthschaftlichen Hochschule.

1) l. c. p 22.

Anmerkung.

In der vorliegenden Mittheilung wird, wie auch in den Werken anderer Autoren, wiederholt gesagt, dass die Anisotropie der organischen Substanzen eine Folge der gesetzmässigen Anordnung der Molecüle in denselben sei. Es ist dies eigentlich eine incorrecte Ausdrucksweise, denn ein Körper mit isotropen Molecülen muss ja bei jeder beliebigen Anordnung derselben isotrop bleiben. Ich machte jedoch in obigen Sätzen stillschweigend die Voraussetzung, dass mit der gesetzmässigen Anordnung der Molecüle, wie bei den anisotropen Krystallen, auch eine ungleiche Aetherdichtigkeit in den verschiedenen Richtungen Hand in Hand gehen müsste. Es mag nun hier noch ausdrücklich hervorgehoben werden, dass ich in allen den Fällen, wo ich von einer Verschiebung der kleinsten Theilchen rede, in der beobachteten Aenderung der optischen Reaction nicht eine directe Folge jener Verschiebung sehe, sondern nur die Folge einer mit derselben verbundenen Aenderung der Aetherdichtigkeit.